

## PERBANDINGAN *POWER SPECTRAL DENSITY* SISTEM OWDM DAN OFDM PADA KANAL RAYLEIGH

### COMPARISON OF OWDM AND OFDM POWER SPECTRAL DENSITY OVER RAYLEIGH CHANNEL

Yuyun Siti Rohmah<sup>1</sup>, Ali Muayyad<sup>2</sup>, Rina Pudji Astuti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prodi D3 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

<sup>2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[yuyunsr@tass.telkomuniversity.ac.id](mailto:yuyunsr@tass.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[alimuayyad@telkomuniversity.ac.id](mailto:alimuayyad@telkomuniversity.ac.id), <sup>3</sup>[rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id](mailto:rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id)

<sup>3</sup>[rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id](mailto:rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik modulasi *multicarrier* untuk mengatasi permasalahan kanal multipath seperti frekuensi selektif fading. *Orthogonalitas* pada sistem OFDM menghasilkan banyak *sub-carrier* yang dapat ditransmisikan secara bersamaan pada spektrum frekuensi yang terbatas tanpa saling berinterferensi. Efisiensi bandwidth didapat karena masing-masing *sub-carrier* saling *orthogonal* sehingga antara *sub-carrier* yang berdekatan dapat dibuat *overlapping*. OWDM (*Orthogonal wavelet division multiplex*) merupakan suatu sistem *multicarrier* alternatif dari OFDM dan telah diteliti sebagai kandidat yang dapat diaplikasikan pada *wireless communication*. Sistem OWDM menggunakan *Inverse Discrete wavelet transform* (IDWT) sebagai pembangkit *subcarrier-subcarrier* yang saling *orthogonal* dan berfungsi sebagai modulator. Sedangkan DWT (*Discrete Wavelet Transform*) digunakan sebagai demodulator. Penelitian ini membandingkan *power spectral density* dari sistem OWDM dan OFDM. Dari hasil simulasi perbandingan *power spectral density* (PSD) didapatkan bahwa PSD dari masing-masing sistem sama. Pada OWDM, pembagian *band frekuensi* untuk setiap *sub-band* berbeda kecuali *sub-band* pada level yang sama. Semakin tinggi level *sub-band* maka semakin lebar *band* frekuensinya.

**Kata kunci : OFDM, OWDM, power spectral density**

#### Abstract

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is a multicarrier modulation technique to mitigate the problem of multipath channel such as frequency selective fading. Orthogonality in OFDM provides any sub-carrier that be transmitted simultaneously over limited of frequency spectrum. Bandwidth efficiency to be obtained because between adjacent sub-carriers can be made overlapping and orthogonal of each other. OWDM (*Orthogonal wavelet division multiplex*) is alternative system of OFDM and it has been proposed as a candidate that can be implemented in wireless communication. OWDM used *Inverse Discrete wavelet transform* (IDWT) to generate orthogonal subcarriers and it also as modulator. While DWT (*Discrete Wavelet Transform*) is used as a demodulator. This paper compared the *power spectral density* (PSD) of OWDM and OFDM system. Simulation resulted the comparison of both system is same, but the division of each sub-band is different in OWDM system except for sub-band in the same level. The highest level have more a wide bandwidth.

**Keywords: OFDM, OWDM, spectral density**

## 1. PENDAHULUAN

Kemudahan akses informasi untuk mendukung beragam aktivitas manusia sangat diperlukan untuk mendukung perkembangan teknologi telekomunikasi seperti pada saat ini. Maka dari itu dibutuhkan sistem komunikasi *wireless* yang mendukung aktivitas *mobile user* yang dapat menyediakan layanan data berkecepatan tinggi. OFDM adalah salah satu teknik multicarrier yang bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut karena utilitas spektralnya yang efisien dan juga ketahanan terhadap frekuensi *selective fading*. Hal ini dikarenakan penggunaan *sub-carrier* saling *orthogonal* sehingga memungkinkan *sub-carrier* saling *overlapping*.

Selain OFDM, sistem *multicarrier* berbasis transformasi *wavelet* telah diajukan dan diberinama *Orthogonal Wavelet Division Multiplexing* (OWDM). Teori *wavelet* telah diramalkan oleh beberapa penulis sebagai *platform* yang baik untuk membangun *multicarrier* berbasis *waveform*. Akansu et.al. menekankan hubungan antara *filterbank* dan teori *multiplexer* dan memprediksikan bahwa OWDM mempunyai kemampuan untuk bermain di sistem komunikasi yang akan datang [1]. Pada sistem OWDM, *Inverse Fast Fourier Transform* dan *Fast Fourier Transform* digantikan dengan *Inverse Discrete Wavelet Transform* dan *Discrete Wavelet Transform* [8]. Pada Penelitian ini akan membandingkan *power spectral density* dari kedua sistem yaitu OFDM dan OWDM.

## 2. LANDASAN TEORI

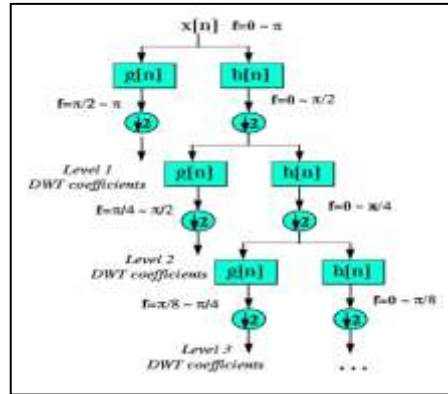
### 2.1 Orthogonal Wavelet Division Multiplexing (OWDM)

*Orthogonal wavelet Division Multiplexing* (OWDM) adalah suatu *multicarrier technique* alternatif dari *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OWDM dalam sistem komunikasi terdiri dari proses sintesa sinyal yang berupa *filter bank* dengan *multiple* input dan satu output pada *transmitter*. Masing-masing input merupakan sub-simbol dari *supersymbol* sebagai keluaran dari skema modulasi. Sedangkan output merupakan sinyal OWDM yang merepresentasikan *supersymbol*. Proses sintesa menghasilkan sinyal OWDM sebagai kombinasi dari pulsa-pulsa OWDM *weighted*. Masing-masing pulsa OWDM *weighted* merupakan representasi dari simbol. Pada *receiver* dilakukan proses analisis sinyal menggunakan *filter bank*, dengan input satu dan *multiple output*.

### 2.2 Transformasi Wavelet Diskrit

#### 2.2.1 Transformasi Wavelet Diskrit Maju (*Forward DWT*) [3][6]

Pada transformasi wavelet diskrit, representasi sinyal *digital* diperoleh dengan menggunakan teknik *filtering digital*. Filter dengan frekuensi *cut-off* berbeda digunakan untuk menganalisa sinyal pada skala yang berbeda. Sinyal dilewatkan ke dalam rangkaian *High Pass Filter* (HPF) dan *Low Pass Filter* (LPF) untuk menganalisa frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Resolusi sinyal merupakan ukuran jumlah informasi detail dari sinyal diubah dengan operasi *filtering* sedangkan skala diubah dengan operasi *downsampling* dan *upsampling* (*sub sampling*). *Subsampling* sinyal yang berarti menurunkan *sampling rate* atau membuang beberapa sampel sinyal. *Upsampling* sinyal yang berarti menaikkan *sampling rate* sinyal dengan menambahkan sampel-sampel baru ke dalam sinyal. Dikarenakan pembagian *filtering* yang tidak simetris untuk setiap *sub-band* sebelumnya, maka pembagian *bandwidth* per *sub-band* tidak sama. Dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini, diilustrasikan dimana sinyal  $x[n]$  merupakan sinyal asli akan dilakukan dekomposisi dengan  $h[n]$  dan  $g[n]$ . *Bandwidth* untuk setiap sinyal ditandai dengan  $f$ .



Gambar 1. Prosedur Proses Dekomposisi sinyal dengan *Discrete Wavelet Transform*

Dari Gambar 1 dapat dijelaskan prosedur dari *Discrete Wavelet Transform* adalah:

- Sinyal dilewatkan ke HPF dan LPF, masing-masing untuk menganalisa sinyal frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. *Filtering* di sini sesuai dengan operasi konvolusi sinyal dengan respon impuls filter.

$$x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot h[n - k] \quad (1)$$

- Setelah sinyal melalui LPF dan HPF, dilakukan subsampling dengan faktor 2. Secara matematis dapat dituliskan:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k] \cdot x[2n - k] \quad (2)$$

- DWT menganalisa sinyal pada *band* frekuensi dan resolusi yang berbeda. Dekomposisi sinyal menghasilkan koefisien detail dan koefisien aproksimasi. DWT terdiri dari 2 set fungsi yaitu *scaling function* dan *wavelet function* yang terdiri dari proses *filtering* HPF dan LPF serta *up/down sampling*. Sinyal asli  $x[n]$  pertama kali dilewatkan ke HPF  $g[n]$  dan LPF  $h[n]$ . Setelah proses *filtering*, keluaran masing-masing filter dilakukan *subsampling* dengan faktor 2. Sinyal keluaran proses dekomposisi untuk setiap level secara matematis dapat ditulis :

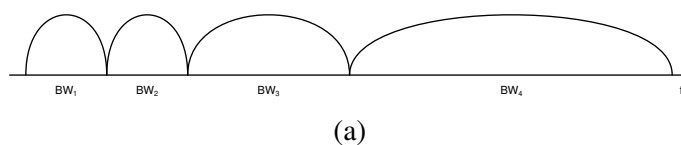
$$y_{high}[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot g[2k - n] \quad (3)$$

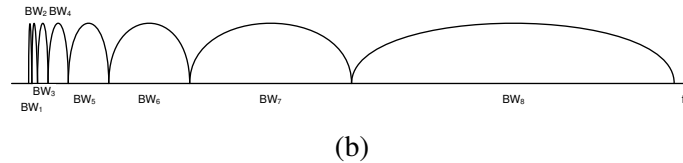
$$y_{low}[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot h[2k - n] \quad (4)$$

- Hubungan HPF dan LPF dilihat dari persamaan :

$$g[L - 1 - n] = (-1)^n \cdot h[n] \quad (5)$$

Dimana  $L$  adalah panjang filter.





Gambar 2. Pembagian *Bandwidth*: (a) 4 *sub-band*, (b) 8 *sub-band*

### 2.2.2 Transformasi Wavelet Diskrit Balik (IDWT) [3][6]

Proses rekonstruksi dilakukan pada blok ini yaitu dengan proses *upsampling* dan *filtering*. Prosedur dari IDWT adalah:

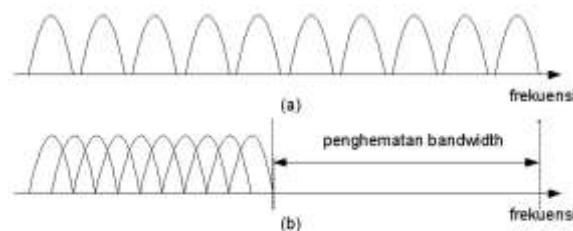
- Sinyal pada setiap level dilakukan *upsampling* oleh faktor 2, lalu dilewatkan ke sintesis filter *highpass* dan kemudian dijumlahkan dimana *upsampling* dilakukan untuk menggabungkan sinyal.
- Persamaan rekonstruksi dapat dituliskan :

$$x[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} (y_{high}[k] \cdot g[2k - n]) + \sum_{-\infty}^{\infty} (y_{high}[k] \cdot g[2k - n]) \quad (6)$$

- Filter yang memberikan rekonstruksi yang sempurna salah satunya yaitu filter *wavelet* yang dikembangkan oleh *Ingrid Daubechies* yang disebut dengan *wavelet Daubechies*.

### 2.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

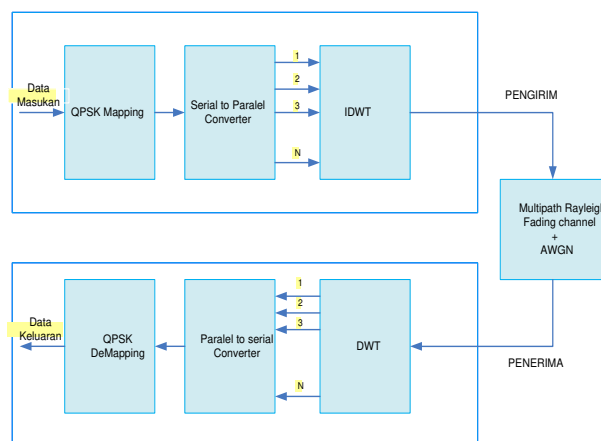
*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan teknik modulasi *multicarrier* yang menggunakan frekuensi saling tegak lurus sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan *multipath fading*. *Orthogonalitas* pada OFDM memperbolehkan transmisi secara simultan pada *sub-carrier* pada band frekuensi yang terbatas tanpa terjadi interferensi.



Gambar 3. Spektrum *multicarrier* (a) tanpa *overlapping*, (b) dengan *Overlapping*

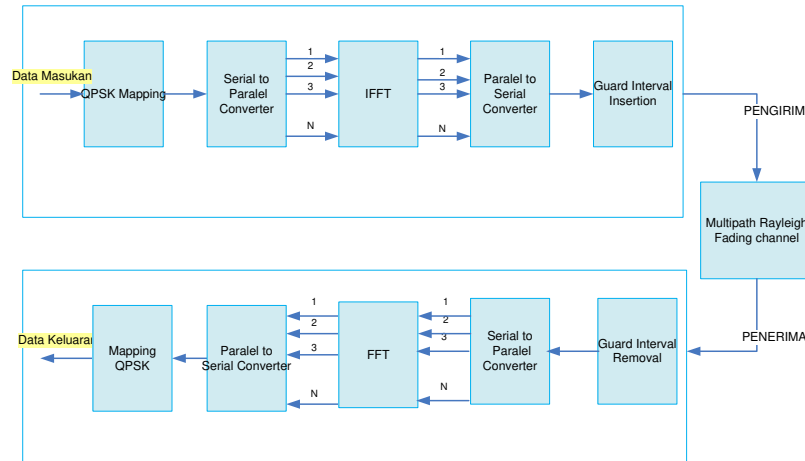
## 3. PEMBAHASAN

### 3.1 Pemodelan Sistem OWDM dan OFDM



Gambar 4. Pemodelan Sistem OWDM menggunakan Transformasi *Wavelet* Diskrit

Pemodelan Sistem OWDM menggunakan wavelet diskrit ditunjukkan oleh Gambar.4. Data input yang dibangkitkan oleh *generator* data kemudian dipetakan menggunakan QPSK menghasilkan simbol-simbol dengan 4 variasi simbol yg berbeda fasa. Blok *Serial to Parallel Converter* digunakan untuk membagi data keluaran *mapper* menjadi beberapa data paralel yang disesuaikan dengan jumlah *sub-band/* lengan/ level dari proses *reconstruction filter bank* (IDWT). Kemudian keluaran Pengirim ditransmisikan melalui kanal AWGN dan kanal *rayleigh* menuju ke penerima. Proses di penerima adalah kebalikan dari pengirim, proses *decomposition filter bank* digunakan untuk mendapatkan kembali simbol-simbol yang dikirim.



Gambar 5. Pemodelan Sistem OFDM

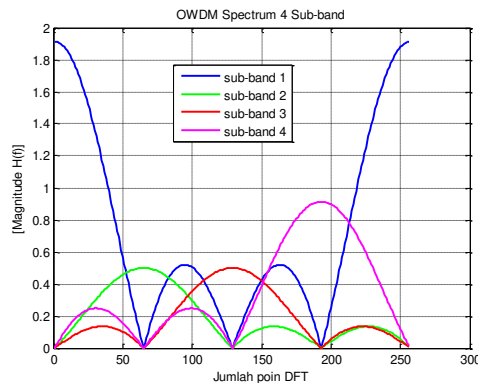
Gambar 5. menunjukkan pemodelan dari sistem OFDM. IFFT digunakan untuk membuat ortogonalitas antara *sub-carrier* sehingga spektrum *sub-carrier* dapat dibuat saling tumpang tindih dalam domain frekuensi tanpa saling berinterferensi. Penambahan *Guard Interval* pada awal simbol OFDM digunakan untuk menghilangkan efek ISI. *Guard interval* ini merupakan replika dari deretan akhir simbol OFDM yang disebut dengan *cyclic prefix*. FFT melakukan konversi dari sinyal OFDM dalam bentuk deretan simbol-simbol menjadi bilangan-bilangan kompleks sesuai dengan konstelasi *mapping* QPSK pada pengirim. Berikut adalah tabel parameter simulasi untuk sistem OWDM dan OFDM.

Tabel 1. Parameter sistem OWDM dan OFDM

| PARAMETER                       | Jenis Parameter                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Jenis Modulasi                  | QPSK                             |
| Jumlah sub-band/sub-carrier (N) | 16                               |
| Model kanal                     | AWGN + Multipath Rayleigh Fading |
| Bandwidth (BW)                  | 2 MHz                            |
| Delay spread ( $\sigma_\tau$ )  | 200 ns                           |
| Kecepatan User (v)              | 3 km/jam                         |
| Jumlah Bit yang ditransmisikan  | $2^{16}$                         |
| Filter Wavelet                  | db8                              |

### 3.2 Analisa Hasil Simulasi

Berikut adalah hasil simulasi yang diperoleh untuk sistem OWDM dan OFDM pada kanal rayleigh.



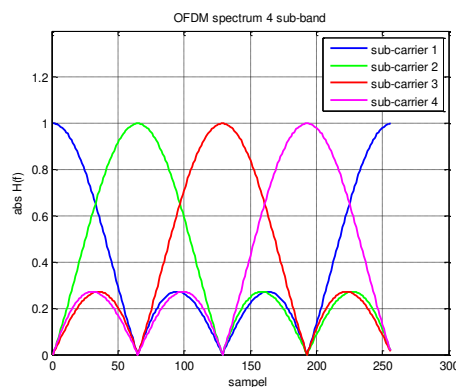
Gambar 6. Spektral sinyal OWDM 4 *sub-band*

Pada sistem OWDM menggunakan *wavelet* diskrit, masing-masing *sub-band* memiliki band frekuensi yang berbeda, kecuali untuk *sub-band* pada level yang sama. Gambar .6 memperlihatkan pembagian *band* frekuensi untuk 4 *sub-band* (3 level IDWT). Pembagian frekuensi subband diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Pembagian *band* frekuensi 4 *sub-band*

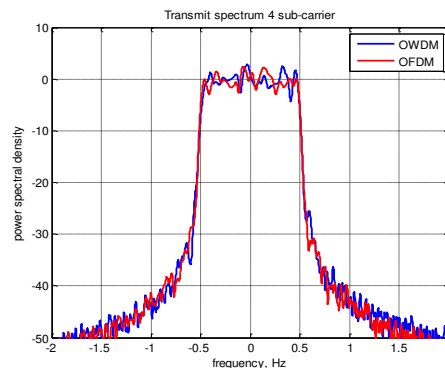
| Sub-band         | $ H(f) $ |
|------------------|----------|
| 1 (level 1 IDWT) | 1.9      |
| 2 (Level 2 IDWT) | 0.95     |
| 3 (level 3 IDWT) | 0.475    |
| 4 (level 3 IDWT) | 0.475    |

Penggunaan IDWT pada sistem OWDM yang menyebabkan antara *sub-band/sub-carrier* memiliki *band* frekuensi yang tidak sama. Hal ini berpengaruh terhadap semakin lebar *band* frekuensi dari suatu *sub-band* maka akan ada kemungkinan kanal masih terasa frekuensi selektif *fading*. Hal ini terjadi jika *bandwidth sub-band* sinyal melewati *bandwidth* koheren kanal yang lebih sempit. *Bandwidth* koheren kanal akan semakin sempit jika nilai *delay spread* semakin tinggi.



Gambar 7. Spektral sinyal OFDM 4 *sub-carrier*

Pada Gambar.7 memperlihatkan spektrum band frekuensi untuk sistem OFDM 4 *sub-carrier*. Di sini terlihat bahwa, dalam sistem OFDM setiap *sub-band* mempunyai *band* frekuensi yang sama.



Gambar 8. *Power Spectral Density* sistem OWDM dan OFDM

Grafik perbandingan PSD sistem OWDM dan OFDM pada Gambar 6, 7 dan 8 memperlihatkan bahwa *power spectrum density* untuk sub-band 4 untuk kedua sistem adalah sama. Akan tetapi, pada sistem OWDM *bandwidth* untuk masing-masing *sub-band* berbeda. Semakin tinggi level *sub-band* maka semakin lebar *band* frekuensinya.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi perbandingan *power spectral density* (PSD) antara sistem OWDM dan OFDM, dapat disimpulkan bahwa kedua sistem memiliki nilai PSD yang sama. Akan tetapi pembagian *bandwidth* untuk masing-masing *subband* sistem OWDM berbeda.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Hassen, S.Fadel.2008.*The Performance of Orthogonal wavelet Division Multiplexing (OWDM) in Flat Rayleigh Fading Channel*. Journal of Engineering and Development, Vol .12, No.1.
- [2] Nerma, Mohamed,H.M., Kamel, Nidal.S and Jeoti, Varun.*An OFDM System Based on Dual Tree Complex Wavelet Transform (DT-CWT)*. Signal Processing: An International Journal (SPIJ), Volume(3) : Issue(2).
- [3] Polikar, R.1995. *The Wavelet Tutorial*. Department of Electrical and Computer Engineering, Rowan University.
- [4] Ahmed, Nadeem.2000. *Joint Detection Strategies for Orthogonal Division Multiplexing*. Thesis Master of Science. Texas.
- [5] Strang, Gilbert., Nguyen, Truong.*Wavelet and Filter banks*. Wellesley. Cambridge Press.
- [6] Burrus, C. Sidney.,Gopinath, Ramesh A and Guo, Haitao.1998. *Introduction to wavelet and Wavelet Transform A Primer*. Prentice-Hall, Inc.
- [7] Dinata, irwan. Analisa Power Spectral Density pada Sistem Orthogonal Wavelet Division Multiplexing Berbasis Wavelet Packet. Elektronik Jurnal Arus Elektro Indonesia (eJAEI)
- [8] Rappaport,Theodore.S.1999.*Wireless Communications Principle and Practice*.
- [9] Silanders, Anders.1999. *On Wavelet For Digital Communication*. Thesis for The Degree of Licentiate of Philosophy. Sweden.
- [10] Scott L. Linfoot, Mohammad K. Ibrahim, Marwan M. Al-Akaidi.2007. *Orthogonal Wavelet Division Multiplex: An Alternative to OFDM*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 53, No. 2.

- [11] Tabassum Nawaz Bajwa, Arsla Khan, Sobia Baig. 2011. *Evolution of Orthogonal Frequency Division Multiplexing Modulation to Discrete Wavelet Multitone*. Frontiers of Information Technology. 978-0-7695-4625-4/11 © 2011 IEEE. DOI 10.1109/FIT.2011.1963.
- [12] Avila. J, Vinoth. B, Thenmozhi. K.2013. *DWT & FEC guided Orthogonal Frequency Division Multiplexing (MB-OFDM)- Enhanced Quality Data Rate*. Proceedings of 2013 IEEE Conference on Information and Communication Technologies (ICT 2013).
- [13] N.R.Raaj an, B.Monisha, M.Ram Kumar, A.Jenifer Philomina, M.V.Priya, D.Parthiban, S.Suganya.2011. *Design and Implementation of Orthogonal Wavelet Division Multiplexing (OHWD) with Minimum Bit Error Rate*. 978-1-4673-0132-91111.IEEE.
- [14] Abdullah S. Almuttiri Scott L. Linfoot.2013. *Orthogonal Wavelet Division Multiplex as a Modulation Scheme for Digital Television*. IEEE Third International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin).
- [15] A.Vamsidhar. 2016. *Performance Comparison of FFT and DWT based MIMO-OFDM Communication Systems*. International Journal of Modern TRends in Engineering and Research.